稻米品種結構與米食加工之關系

盧　訓
中興大學食品科學系

摘　要

本實驗選用十四種省產稻米爲材料，其中包括五種秈米 (台中在來一號，台中秈十七號，高雄秈七號，台中秈十號，台秈一號)，五種粳米(台農六十七號，台農七十號，台南九號，台中一八九號，高雄一四二號)及四種糯米 (台中秈糯一號，紅腳糯，台中糯七十號，新竹糯四號)，分析其支鏈澱粉之微細結構及理化性質，進而探討其相關性。

實驗結果顯示，秈米支鏈澱粉的分子量小，分支數少，平均鏈長較長，大約爲 18-22 個葡萄糖基，而粳米及糯米的平均鏈長，則分別爲 15-18 及 17-20 個葡萄糖基。所有的稻米支鏈澱粉，最短分支鏈皆由 6 個葡萄糖基組成。十四種稻米支鏈澱粉的鏈長分佈圖皆呈兩個波峰型態。一般而言，秈米具有較多的長鏈，其中，三種高直鏈澱粉含量的的秈米即台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號，其支鏈澱粉更含有少量鏈長大於一百個葡萄糖基的超長鏈部分。

秈米支鏈澱粉因爲具有較多的長鏈，故其藍價以及最大吸收波長皆高，且因分子呈長桿構形 (elongated rod conformation) 以致有較高的固有黏度。

關鍵詞：稻米、支鏈澱粉

緒　言

稻米 (Oryza sativa L.）是人類主食之一，但由於缺乏能形成麵筋的特殊蛋白質，而不似小麥麵粉，經攪拌之後，可賦與麵糰特殊的流變性質。因此，一般的米飯或者米食製品之品質，與米澱粉之理化性質，有較密切的關係。

澱粉是由直鏈澱粉 (amylose) 及支鏈澱粉 (amylopectin) 所組成。對於稻米而言，初步發現，除了直鏈澱粉與支鏈澱粉的含量比與米飯「入口品質」(eating quality) 有密切關係之外，因支鏈澱粉成份佔多數，故其微細結構(fine structure) 亦可能爲影響米飯入口品質之重要因素。

因此，爲深入探討上述問題，本實驗擬針對省產各稻米之支鏈澱粉的分支分子平均鏈長及其分布情形，做詳細的鑑定，研究其微細結構與理化性質之相關性。進而歸納出支鏈澱粉的微細結構對米飯入口品質的影響。

材料與方法

一、實驗材料

本實驗採用之米種如下：

秈米 (indica rice)

台中在來 1 號(Taichung Native1, TCN1)

台中秈 17 號(Taichung Sen17,TCS17)

高雄秈 7 號(Kaohsiung Sen7, KSS7)

台中秈 10 號(Taichung Sen10, TCS10)

台秈1號 (Taisen 1，TS1)

梗米 (japonica rice)

台農 67 號 (Tainung67，TNu67)

台農 70 號 (Tainung70，TNu70)

台南 9 號 (Tainan9，TN9)

台中 189 號 (Taichung189，TC189)

高雄 142 號 (Kaohsiung142，KS142)

糯米 (waxy rice)

台中秈糯 1 號 (Taichung Sen Waxy1，TCSW1)

紅腳糯 (Hong Xiao Waxy，HKW)

台中糯 70 號 (Taichung Waxy70，TCW70)

新竹糯4號 (Hsinchu Waxy4，HCW4)

上述14種米種皆爲省產1990年第一期作之精白米，由台中區農業改良場提供。

實驗方法

(一)稻米支鏈澱粉的純化

1. 純化方法

依 Takeda 等人 (1987) 的方法，將乾重 10 克的米澱粉溶於 300mlDMSO。在充氮狀態下，煮沸十五分鐘後，加入 300ml 乙醇 0℃，下貯存若干小時，以4000 rpm 在 4 ℃ 下離心二十分鐘，收集沉澱物，再重上述步驟一次，所得之沉澱物溶於 400ml 的熱蒸餾水中，加入含有 100ml 1 anol，100ml isoamyl alcohol 及 1300ml 蒸餾水的混合液。之後，充氮迴流下，煮沸三小時，待其冷卻至 50℃ 時，將混合液連同容器置於保麗龍盒中，貯放一夜，然後移至 8℃ 下繼續靜置48 小時，以 10000 rpm 在 4℃ 下離心二十分鐘，所收集之上清液在 40℃ 下濃縮至約 400 ml 後，加入800ml 乙醇，以 G-2 玻璃過濾器收集沉澱物，重覆上述步驟一次後，將沉澱物乾燥，即得支鏈澱粉。

2. 純度鑑定

依 Takeda 等人 (1987) 之法，利用膠體層析法 (gel －permeation chromatograph，GPC) 進行分析，取10ml 之支鏈澱粉溶液，以蠕動幫浦 Minipuls 2，Gelson，U.S.A.) 打入充填

Fractogel TSK HW-75(F) (Merck, Germany) 的管柱中(2.6×95 cm；Pharmacia，Sweden)，析出液(eluent) 爲 50mM 的NaCl，流速 40 ml／hr，溫度 35℃，每十五分鐘收集一管，收集液之總碳水化合物含量以 Phenol-Sulfuric acid (Dubois et al. 1956) 法測試，即取 1ml 的樣品溶液(約含 25～100 ug／ml 的葡萄糖) 加入 1ml 5％的酚溶液後，快速沖入 5ml濃硫酸，冷卻至室溫後，於波長 488nm 下測其吸光值，以葡萄糖做標準液作爲對照組。

㈡支鏈澱粉分子微細結構的分析

1.平均聚合度 (average degree of polymerization，$\overline{DP}$) 採 Hizukuri 等人 (1983) 的方法，將支鏈澱粉溶液，以 Modified Park Johnson's method 測定還原端之量，即取 1ml的樣品溶液(約含 1～5 ug／ml的葡萄糖量)，加入 0.5ml 的 0.1％ potassium ferri cyanide($K_3Fe(CN)_6$) 及0.5ml 緩衝溶液(含0.48％ Na_2CO_3，0.92％ $NaHCO_3$ 及 0.065％ KCN)，於沸水浴中加熱十五分鐘，在冷卻十分鐘後加入 2.5ml 的 0.3％$FeNH_4(SO_4)_2$ 溶液，在抽氣櫃中靜置二十分鐘，於715nm 下測其吸光值，並以葡萄糖標準液做對照組，求得還原糖量。另以 Phenol-Sulfuric acid 做總碳水化合物分析，則

$$\text{平均聚合度 } \overline{DP} = \frac{\text{總碳水化合物}}{\text{還原糖量}}$$

2. 平均鏈長 (average chain length，$\overline{CL}$)

將支鏈澱粉進行剪支作用。取支鏈澱粉溶液 (10 mg／ml) 5ml 置於沸水浴中十分鐘，待其冷卻後，加入pH3.5 的 50mM 醋酸緩衝液 5ml，再加入 18000 units isoamylase (Sigma，U.S.A.) 於 45℃ 下振盪 24 小時，然後放入沸水浴中約五分鐘，使反應停止。剪支後的支鏈澱粉溶液，以 Phenol Sulfuric acid 做總碳水化合物分析，再以 Somogyi-Nelson's method 進行還原糖測定，即將 25ml的 A液 (含2.5％ anhydrous Na_2CO_3，2.5％ $NaC_4H_4O_6$，2.0％$NaHCO_3$ 及 20％ anhydrous Na2SO4) 與 1ml 的 B液(含 1.5％ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 混合，取 1ml 加入 1ml 的樣品溶液 (約含 200 ～800 mg／ml的麥芽糖) 中煮沸二十分鐘，冷卻後加入 1ml C液 (25g $(NH_4)_6MO_7O_{24} \cdot 4H_2O$／450ml H_2O 加21ml濃流酸及3g $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$／25ml H_2O)，振盪至反應完全，亦即二氧化碳不再產生爲止。定量至 25ml 後，於波長 520nm下測其吸光值，另以麥芽糖標準液爲對照組，計算還原糖，則

$$\text{平均鏈長 } \overline{CL} = \frac{\text{總碳水化合物}}{\text{還原糖量}}$$

3. 最短分支鏈測定

依 Koizumi 等人 (1991) 的方法，取剪支後樣品 2mg 溶於 1ml 的 150mH NaOH，製得樣品溶液，進行 HPAEC- PAD (high performance anion-exchange chromatograph with pulsed amperometric detector)。使用的儀器爲 Model 4000i Dionex BioLC system 及 Model 2 PAD system (Dionex，Sunnyvale，CA，U.S.A.)。管柱爲 Dionex HPIC-AS6 (250mm×4mm I.D.) 脈衝電位及時間爲

E ＝ 0.10V (t ＝300ms)

E = 0.60V (t = 120ms)

E = -0.80V (t = 300ms)

，使用的兩種析出液爲 A：150mM NaOH，B：150mM NaOH 及 500mM NaOAc，其梯度控制爲：

0 min 時 60％A + 40％B

2 min 時 50％A + 50％B

10 min 時 40％A + 60％B

40 min 時 20％A + 80％B

流速爲 1ml／min， 常溫下進行。

4.平均鏈數 (average chain number，$\overline{NC}$)

每個支鏈澱粉分子的平均鏈數，即將前述所得的平均 聚合度與平均鏈長相除而得。

$$平均鏈數\ \overline{NC} = \frac{平均聚合度}{平均鏈長}$$

5.β-澱粉脢水解率 (β-amylolysis)

將支鏈澱粉進行β-amylolysis，取支鏈澱粉溶液(5mg／ml) 2ml 加入 pH4.8 的 20mM 醋酸緩衝液及 500 units 的β-amylase (Sigma，U.S.A.)，於 37° C下振盪六小時後，置沸水浴中五分鐘，使酵素失活，作用後之溶液分別以 Phenol-Sulfuric acid 測得總碳水化合物量及以 Somogyi－Nelson's method 分析還原糖量。

$$\beta\text{-amylolysis}\ \% = \frac{還原糖量}{總碳水化合物} \times 100\%$$

6.平均外鏈長 (average exterior chain length，$\overline{ECL}$)

平均內鏈長 (average interior chain length，$\overline{ICL}$) 依照 Manners (1989) 的理論計算而得

$$ECL = \overline{CL} \times \beta\text{-amylolysis}\ \% + 2.0$$

$$ICL = \overline{CL} - \overline{ECL} - 1.0$$

7.分子鏈長分布 (distribution of chain length)

採膠體層析法進行分析。依前述平均鏈長之方法，將支鏈澱粉進行剪支後乾燥，得到粉末狀之樣品，取樣品溶液(1mg／ml) 10ml，以蠕動幫浦打入充塡 Fracto- gel TSK HW -50(F)(Merck，Germany) 的管柱(2.6 × 100 cm，Pharmacia，Sweden)。析出液爲含有 0.02％ sodium azide 之蒸餾水，流速 0.625 ml／min， 溫度35° C，每8分鐘收集一管，收集液分別以 Phenol sulufuric acid 及 Park-Johnson's method 分析總碳水化物及還原糖量，即可得分子鏈長之分布圖。

㈢支鏈澱粉理化性質之分析

1.藍價 (blue value，BV)

依 Gilbert 及 Spragg (1964) 之 iodine sorption method。取 10～15mg 支鏈澱粉加入 1ml 1N 的NaOH，置入沸水浴中加熱三分鐘，待其冷卻後，以 1N HCl 中和，將此樣品溶液加入約 0.14-0.2g potassium hydrogen tartrate ，再加入 1 ml 碘液 (含 0.2％ I 及 2％ KI)，定量至 100ml 靜置二十分鐘，以波長680nm 測其吸光值。

$$\text{藍價 BV} = \frac{\text{吸光值}}{\text{濃度 (mg／dl)}} \times 4$$

2.最大吸收波長 (λ max)

取支鏈澱粉溶液 (5mg／ml) 1ml 加入 0.1g 酒石酸氫鉀後，再加入 0.5ml 碘液 (含有 0.2％ I 及 2％ KI) 定量至 50ml，靜置 30 分鐘，以波長 500～700nm 掃瞄，測定最大吸收波長。

3.固有黏度 (intrinsic viscosity，〔 η 〕)

依 Greenwood 等人 (1969) 之法。使用Cannon Fenske Viscometer 測定，分別配置 4～6 種不同濃度之支鏈澱粉的 1N NaOH 溶液 10 ml，於 22.5° C 下以編號50之毛細管，測其支鏈澱粉溶液流經固定距離，所需之時間，代入公式計算。

結果與討論

一、平均聚合度及平均鏈數

省產十四種稻米，其支鏈澱粉的平均分子聚合度大約介於 2700～12000個葡萄糖基間 (表一)，其中台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號的支鏈澱粉分子聚合度較小，僅由 2700～2900 個葡萄糖基所組成。而同爲秈米的台中秈十號及台秈一號，其支鏈澱粉分子聚合度稍大，較接近粳米支鏈澱粉。此外，糯米支鏈澱粉的分子聚合度，介於秈米、粳米之間，其中，圓糯支鏈澱粉略大於長糯支鏈澱粉，而類似粳米支鏈澱粉。但 Hizukuri (1993) 分析之糯米支鏈澱粉分子聚合度卻遠大於秈米與粳米的支鏈澱粉，約爲19000 個葡萄糖基所組成，是否因爲品種不同所致，須更進一步探討。

稻米支鏈澱粉分子的平均分支數亦有明顯的差異(表一)。粳米支鏈澱粉分子的分支較秈米爲多，而秈米中又以台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號支鏈澱粉的分支數最低。此外，長糯支鏈澱粉的分支數近似於台中秈十號與台秈一號，而圓糯支鏈澱粉則與粳米類似。

二、平均鏈長

平均鏈長爲支鏈澱粉的一個重要結構指標。省產秈米中，台中秈十號及台秈一號的支鏈澱粉分支鏈，平均由 18～19 個葡萄糖基組成。台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號支鏈澱粉的平均鏈長則介於20～22 個葡萄糖基間。而各種粳米支鏈澱粉由平均聚合度 15～18 個葡萄糖基的分支鏈所組成 (表二)。此粳米支鏈澱粉的平均鏈長略低於 Hizukuri (1993) 的結果 (CL＝19～20)。但實驗均發現，秈米支鏈澱粉之平均鏈長高於粳米支鏈澱粉。此外，長糯支鏈澱粉的分支鏈平均聚合度爲 19～20 個葡萄糖基，與秈米支鏈澱粉類似，而圓糯支

表一、稻米支鏈澱粉分子之平均聚合度及平均鏈數

Table 1. The average degree ofpolymerization (OP) and the average chain number (NC) of rice amylopectins

variety	DP(glucose units)	NC
INDICA		
TCN1	2827 ± 9.2*	128.0 ± 0.27
TCS17	2885 ± 19.6	133.1 ± 0.50
KSS7	2743 ± 30.2	135.1 ± 0.07
TCS10	6481 ± 28.6	345.1 ± 1.93
TS1	7850 ± 22.0	424.3 ± 2.74
JAPONICA		
TNu67	8812 ± 22.9	503.9 ± 3.16
TNu70	11931 ± 17.1	760.9 ± 7.60
TN9	9540 ± 18.0	586.4 ± 5.96
TC189	10470 ± 20.4	678.6 ± 7.66
KS142	7327 ± 24.5	423.8 ± 2.98
WAXY		
TCSW1	7721 ± 27.8	389.2 ± 2.92
HKW	8270 ± 18.8	433.5 ± 2.73
TCW70	9101 ± 27.8	517.4 ± 3.46
HCW4	9844 ± 21.2	562.5 ± 2.73

*: Mean ± S.D., n=3

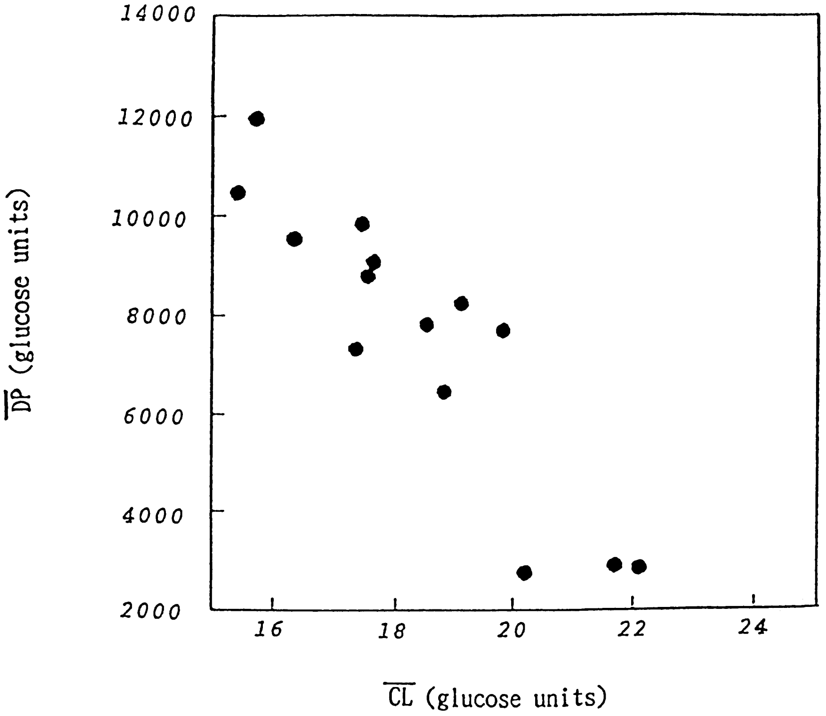
表二、稻米支鏈澱粉之平均鏈長、平均外鏈長、平均內鏈長及 -澱粉 水解率

Table 2. The average chain length (CL). the average exterior chain length (ECL), the average interior chain length (ICL) and the B-amylolysis of rice amylopectins

Variety	CL	ECL	ICL	β amylolysis(%)
		(glucose units)		
INDICA				
TCN1	22.1 ± 0.19	15.8	5.32	62.3 ± 0.05
TCS17	21.7 ± 0.22	15.4	5.25	61.9 ± 0.11
KSS7	20.2 ± 0.21	14.5	4.67	62.1 ± 0.07
TCS10	18.8 ± 0.18	13.4	4.34	60.9 ± 0.20
TS1	18.5 ± 0.17	13.2	4.20	61.1 ± 0.22
JAPONICA				
TNu67	17.5 ± 0.16	12.6	3.86	60.8 ± 0.33
TNu70	15.7 ± 0.18	11.5	3.23	60.3 ± 0.12
TN9	16.3 ± 0.19	11.7	3.59	59.5 ± 0.37
TC189	15.4 ± 0.20	11.3	3.18	60.0 ± 0.37
KS142	17.3 ± 0.18	12.2	4.08	59.0 ± 0.45
WAXY				
TCSW1	19.8 ± 0.22	13.1	5.71	56.1 ± 0.26
HKW	19.1 ± 0.16	13.2	4.83	58.9 ± 0.39
TCW70	17.6 ± 0.17	12.2	4.39	58.0 ± 0.33
HCW4	17.4 ± 0.18	11.8	4.58	56.4 ± 0.23

*: Mean ± S.D., n=3

鏈澱粉的平均鏈長則為 17～18 個葡萄糖基，近似於梗米支鏈澱粉。稻米支鏈澱粉的平均鏈長與平均聚合度呈負相關的趨勢(圖一)，是否其他不同來源的支鏈澱粉皆有此關係，須進一步的探討。



圖一、支鏈澱粉平均鏈長與平均聚合度之相關性

Fig. 1 The relationships of the average chain length (CL) and the average degree of polymerization (DP) of the rice amylopectin.

總括而言，稻米的支鏈澱粉，其平均鏈長較其他不同來源之支鏈澱粉平均鏈長為短(chestnut CL＝23，sago CL＝22～23，lotus CL＝22～23，sweet potato CL＝21～23，potato CL＝23～24，yam CL＝24～26)，而與小麥支鏈澱粉相接近(Hizukuri，1993)。由於支鏈澱粉是形成結晶的主要成份，因此，澱粉的結晶型態與支鏈澱粉的鏈長有密切關係French，1984)。平均鏈長較短者，如稻米、小麥等穀類澱粉，其結晶型態多為 A－type；平均鏈長較長者，則為 B－type，如 potato 及 yam；而 C－type 之平均鏈長則介於 A、B－type 間，如 sago、chestnut 及 lotus 等(Hizukuri et al. 1983；Gidley and Bulpin，1987)。

三、β－澱粉酶水解極限，平均外鏈長及平均內鏈長

由於β－澱粉酶的水解始自非還原端，且以麥芽糖為單位，依序水解至α－1,6 鍵結點前止，因此由表二稻米支鏈澱粉的β－澱粉酶水解率皆高於 50％ 的結果可推測，支鏈澱粉的α－1,6 鍵結點較集中於分支鏈的還原端，導致稻米支鏈澱粉的平均外鏈長高於平均內鏈長。由於支鏈澱粉的外鏈，是形成雙股螺旋的主要區域，因此，外鏈長於內鏈的現象，將

有助於支鏈澱粉的結晶形成並增加其穩定性 (French，1972；Hizukuri et al. 1983)。

支鏈澱粉之β－澱粉酶水解率的高低，依序爲秈米、梗米與糯米。由於秈米的平均鏈長較長，且β－澱粉脢水解率亦高，故其平均外鏈較梗米及糯米之支鏈澱粉長，約介於13～16個葡萄糖基間，而梗米支鏈澱粉的平均外鏈長則由11～13個葡萄糖基所組成。此外，長糯支鏈澱粉的平均外鏈長接近秈米，圓糯則類似梗米。梗米支鏈的平均內鏈長略低於秈米及糯米，但差異並不十分明顯，所有品種的支鏈澱粉平均內鏈長，皆在3～6個葡萄糖基之間。

四、鏈長分佈

將支鏈澱粉進行酵素剪支後，利用層析方法 (chromatography)，依支鏈分子長短順序分離。圖二爲台農六十七號支鏈澱粉剪支後，進行高效能陰離子交換層析所得的鏈長分佈圖。由於標準樣品的取得困難，僅能鑑定聚合度爲1～7個葡萄糖基的短鏈。省產十四種稻米的支鏈澱粉，其鏈長分佈型態雖略有不同，但其最短鏈長皆由六個葡萄糖基所組成。此特點亦見於其他不同來源的支鏈澱粉 (Koizumi et al. 1991)。若將剪支後之樣品進行膠體過濾層析法GPC)，則其鏈長的重量分佈 (weight-basis) 如圖三～五所示。依圖形之折曲點，將其區分爲超長鏈區extralong chain fraction)，長鏈區 (long chain faction) 及短鏈區 (short chain fraction)。除台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號之支鏈澱粉具有一百個葡萄糖基以上的超長鏈區，而呈現三段式分佈 (trimodal distribution) 的型態外，其餘十一種支鏈澱粉，皆爲二段分佈 (bimodal distribution)。

短鏈區的波峰平均鏈長，以台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號較高，糯米最低。而長鏈部份的波峰平均鏈長則以梗米稍高 (圖三～圖五)。十四種稻米的支鏈澱粉，其短鏈區的含量皆高於超長鏈區與長鏈區含量和 (表三)。依Hizukuri 1986) 的支鏈澱粉模型，此短鏈區即是形成單一結晶區的部份，因此，短鏈含量高將形成較多的結晶區。由表三顯示除台中189號及高雄142號外，梗米及圓糯支鏈澱粉的長分支鏈含量較少，而台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號之支鏈澱粉，超長鏈及長鏈含量和與短鏈含量的比值特別高，即其具有較多的長分支鏈。除分佈型態外，各區的含量比及波峰平均鏈長的差異皆可作爲區分澱粉來源的依據 (Hizukuri，1985)。

五、藍價與最大吸收波長

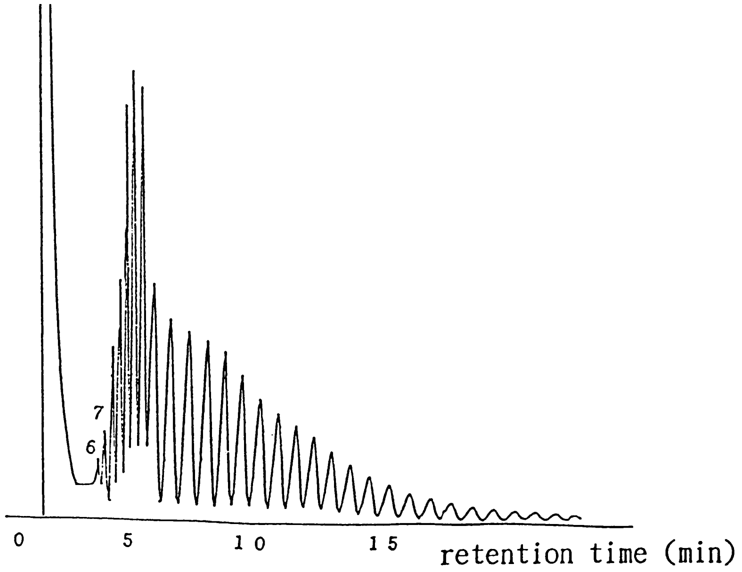
支鏈澱粉的藍價與最大吸收波長，可用以表示支鏈澱粉與碘分子的鍵結能力 (Takeda and Hizukuri，1987)。不同米種之支鏈澱粉，其藍價及最大吸收波長，分佈範圍很廣，顯示彼此結構的差異性。台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號之支鏈澱粉，有較高的藍價，約爲0.165～0.260，最大吸收波長亦較高，介於592～607nm間 (表四)。此種結果，可能源於支鏈澱粉的外鏈較長 (圖六)，且同時具有超長鏈，故與碘分子之親和力高。由於梗米支鏈澱粉之平均外鏈長極爲接近，集中在11.3～12.6個葡萄糖基間 (表二)，因此其藍價及最大吸收波長較無顯著的差異。此外，糯米支鏈澱粉的平均外鏈長雖然略高於梗米支鏈澱粉，但其藍價及最大吸收波長卻低於梗米，故推測糯米支鏈澱粉的分支鏈，具有相當緊密的空間排列 (closely spaced side chain)，由於此立體障礙，而不易與碘分子結合 (Takeda and Hizukuri，1987)。

表三、稻米支鏈澱粉鏈長分佈百分比

Table 3. The weight percentage of the chain length distribution of rice amylopectins

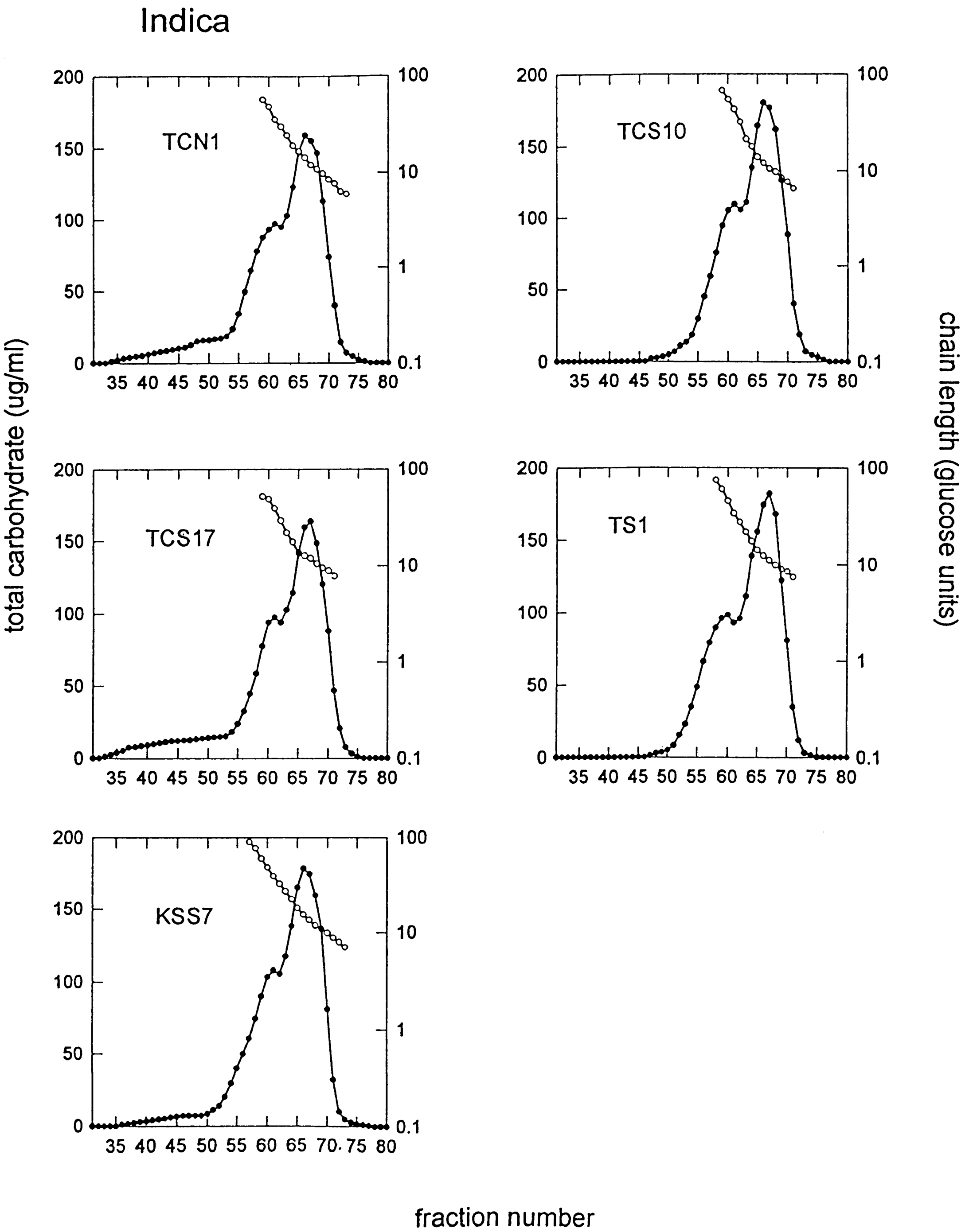
Variety	Extralong (%) (a)	Long(%) (b)	Short(%) (c)	a+b/c
INDICA				
TCN1	10.06 ± 0.13*	31.43 ± 0.25	58.51 ± 0.61	0.709
TCS17	10.93 ± 0.15	29.16 ± 0.21	59.91 ± 0.53	0.669
KSS7	3.74 ± 0.08	35.58 ± 0.31	60.68 ± 0.59	0.648
TCS10	N D	36.15 ± 0.26	63.85 ± 0.57	0.566
TS1	N D	34.87 ± 0.23	65.13 ± 0.64	0.535
JAPONICA	N D			
TNu67	N D	34.52 ± 0.24	65.48 ± 0.71	0.527
TNu70	N D	34.26 ± 0.19	65.74 ± 0.67	0.521
TN9	N D	34.48 ± 0.29	65.52 ± 0.73	0.526
TC189	N D	34.95 ± 0.27	65.05 ± 0.70	0.537
KS142	N D	35.35 ± 0.27	64.64 ± 0.69	0.547
WAXY				
TCSW1	N D	35.68 ± 0.21	64.32 ± 0.69	0.555
HKW	N D	34.99 ± 0.28	65.01 ± 0.80	0.538
TCW70	N D	34.17 ± 0.17	65.83 ± 0.77	0.519
HCW4	N D	33.87 ± 0.26	66.13 ± 0.69	0.512

*: Mean ± S.D., n=3   N.D.: not detectable



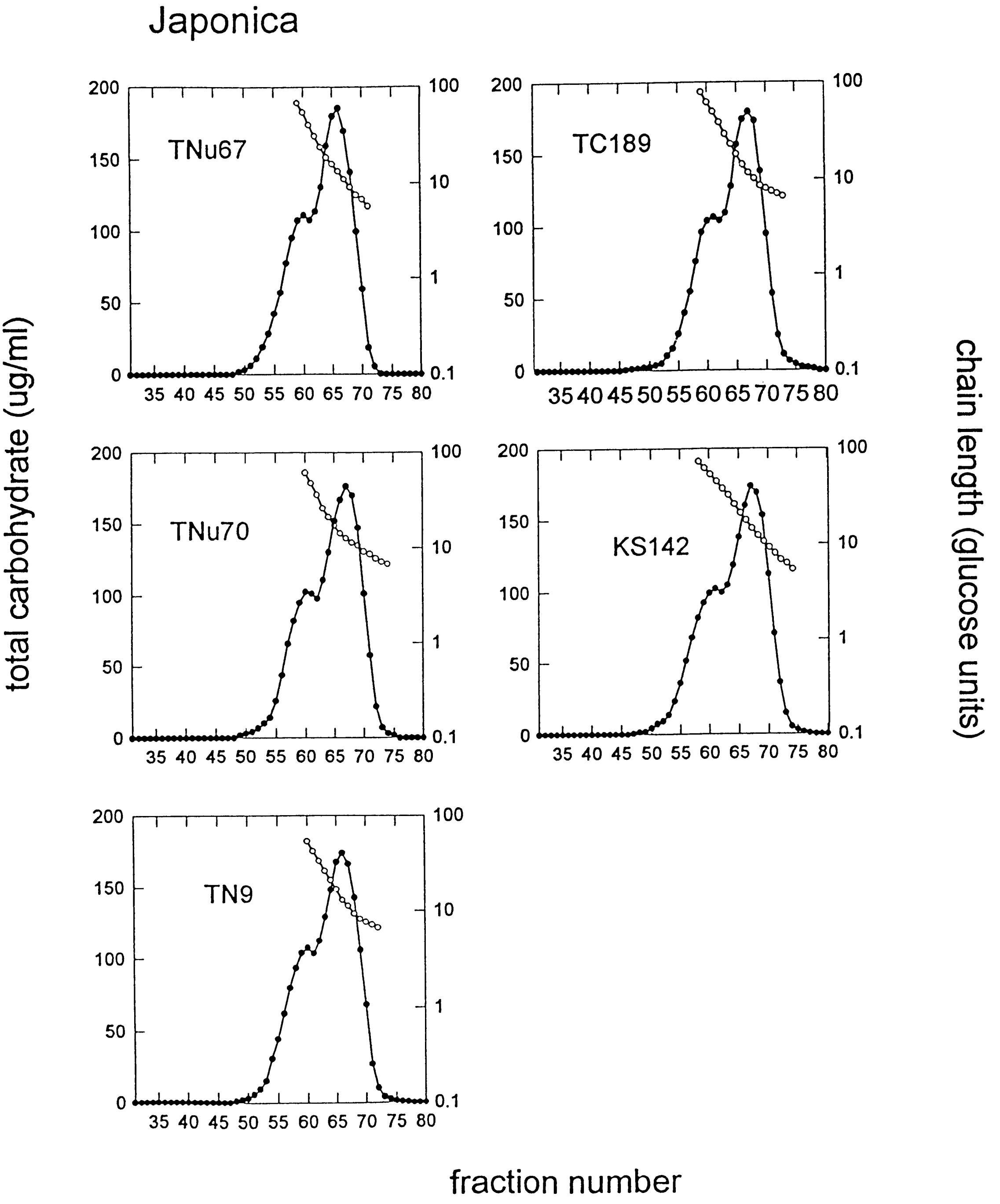
圖二、台農六十七號支鏈澱粉剪支後之陰離子交換層析圖

Fig. 2. The high performance anion-exchange chromatograph of the debranched amylopectin of TNu67. The number shown on the peak refers to the chain length of the peak.



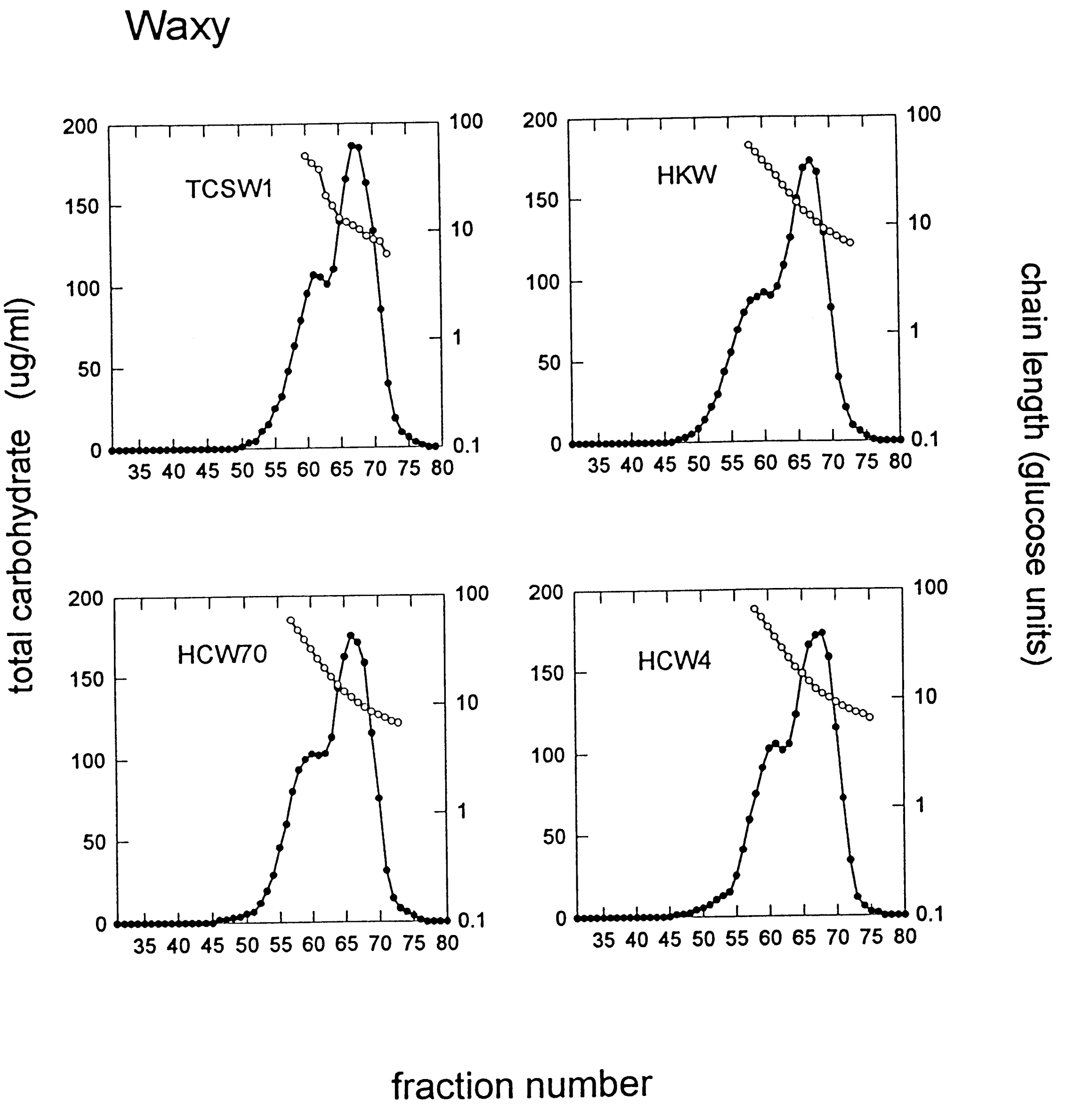
圖三、秈米支鏈澱粉之鏈長分布圖

Fig. 3. The distribution of the chain length of the indica rice amylopectin. The number shown on the peak refers to the chain length of the peak.



圖四、梗米支鏈澱粉之鏈長分布圖

Fig. 4. The distribution of the chain length of the japonica rice amylopectin. The number shown on the peak refers to the chain length of the peak.



圖五、糯米支鏈澱粉之鏈長分布圖

Fig. 5. The distribution of the chain length of the waxy rice amylopectin. The number shown on the peak refers to the chain length of the peak.

六、固有黏度

固有黏度與分子所佔之空間大小，有極密切之關係。就直鏈分子而言，固有黏度與分子量呈正相關，而有〔 η 〕＝0.51 × (DPn) (r＝0.88) 的關係 (Hizukuri et al. 1989) 。而支鏈澱粉則不然。梗米與糯米支鏈澱粉的平均聚合度較秈米支鏈澱粉高 (表一) ，但其固有黏度

卻較秈米支鏈澱粉低 (表四)，意謂著粳米及糯米支鏈澱粉的分子形狀，較趨向圓形或是分子大小的分布較爲集中 (Takeda and Hizukuri，1987)。而台中在來一號，台中秈十七號及高雄秈七號的支鏈澱粉由於具有超長鏈的分支，導致分子形狀呈長桿構形(elongated rod conformation)，佔有較大的空間，因此賦予較高的固有黏度。由此可知，支鏈澱粉的固有黏度與分子組織架構 (molecular architecture) 有關，而與分子量大小較不相關。

七、直鏈澱粉的含量

一般直鏈澱粉含量的測定，是利用直鏈澱粉特有的長鏈結構與碘分子形成螺旋複合物 (Helical complex) 而呈色來定量。一般測定稻米的直鏈澱粉含量，約介於 0～30％ 之間，且隨栽種溫度變化而略有不同 (Asaoka et al. 1985)。本實驗初步發現，支鏈澱粉的各分支鏈雖然不似直鏈澱粉般擁有足夠長的直鏈構造，但仍具有若干與碘分子結合的能力，而提供部份的呈色效果。傳統高直鏈澱粉含量的秈米，其支鏈澱粉因分支外鏈較長，且具有超長鏈分支，因而與碘分子結合能力強 (表四)。由於傳統測量直鏈澱粉的方法，是由單一來源的直鏈澱粉與支鏈鏈粉以不同比例配製成標準溶液，測得吸光值作爲對照組。因此，推測其直鏈澱粉的含量，將因支鏈澱粉的結構差異，而造成某種程度的呈色誤差，故將傳統方法加以修正。即分別以各米種之直鏈澱粉與支鏈澱粉作爲標準品，分別建立呈色檢量線 (calibration curve) 來測定該米種之直鏈澱粉含量。

表四、稻米支鏈澱粉之藍價，最大吸收波長及固有黏度

Table 4. The blue value, the maximum absorbance of wavelength and the intrinsic viscosity of rice amylopectins

Variety	blue value	λ max(nm)	[η]
INDICA			
TCN1	0.260 ± 0.0122*	607	148
TCS17	0.255 ± 0.0171	607	159
KSS7	0.165 ± 0.0116	592	153
TCS10	0.087 ± 0.0065	559	132
TS1	0.058 ± 0.0041	556	128
JAPONICA			
TNu67	0.048 ± 0.0024	538	133
TNu70	0.048 ± 0.0033	537	138
TN9	0.046 ± 0.0041	537	137
TC189	0.046 ± 0.0025	537	131
KS142	0.048 ± 0.0041	537	136
WAXY			
TCSW1	0.035 ± 0.0016	533	135
HKW	0.028 ± 0.0024	527	136
TCW70	0.037 ± 0.0024	533	134
HCW4	0.023 ± 0.0016	525	132

*：Mean ± S.D., n＝3

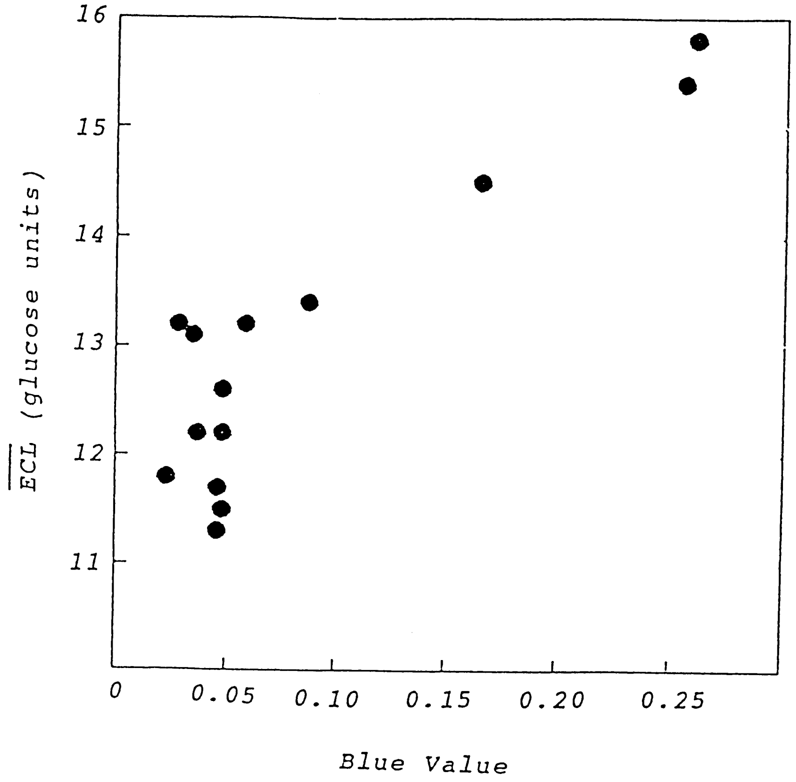
結果如表五顯示，所有米種其實際直鏈澱粉含量actual amylose content) 皆低於視直鏈澱粉含量 (apparent amylose content)，且所謂高直鏈澱粉含量的秈米，事實上其直鏈澱粉含量約 15～16 %，僅略高於粳米之直鏈澱粉含量。Takeda 與 Hizukuri 曾以碘親和力的方法 (iodine affinity method) 測定秈米與粳米之直鏈澱粉含量，亦有相似的結果(Takeda and Hizukuri，1987，1989)。除糯米之外，支鏈澱粉具有超長鏈或長鏈含量高的米種，視直鏈澱粉含量較高。因此，是否可利用視直鏈澱粉含量作爲評估支鏈澱粉的微細結構的指標，值得再進一步探討。

表五、稻米澱粉之直鏈鏈澱粉含量

Table 5. The apparent and actual amylose contents of the rice starch

Variety	Apparent Amylose Content % (A)	Actual Amylose Content % (B)	A-B
INDICA			
TCN1	28.36 ± 0.14*	15.32 ± 0.11	13.04
TCS17	25.81 ± 0.12	15.75 ± 0.12	10.06
KSS7	24.15 ± 0.15	16.02 ± 0.12	8.13
TCS10	15.11 ± 0.11	13.68 ± 0.10	1.43
TS1	15.30 ± 0.12	14.18 ± 0.11	1.12
JAPONICA			
TNu67	15.67 ± 0.10	14.99 ± 0.14	0.68
TNu70	14.10 ± 0.09	13.27 ± 0.12	0.83
TN9	14.49 ± 0.09	13.83 ± 0.13	0.66
TC189	13.92 ± 0.11	13.56 ± 0.15	0.36
KS142	15.61 ± 0.10	13.98 ± 0.12	1.63
WAXY			
TCSW1	1.42 ± 0.02	1.31 ± 0.03	0.11
HKW	1.18 ± 0.02	1.09 ± 0.01	0.09
TCW70	0.99 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.06
HCW4	0.87 ± 0.01	0.82 ± 0.02	0.05

*：Mean ± S.D., n＝3



圖六、支鏈澱粉平均外鏈長與藍價之相關性

Fig 6. The relationship of the average exterior chain length (CL) and blue value of the rice amylopectin.

結 論

秈米支鏈澱粉的分子量小，分支數少，平均鏈長較長，約爲 18～22 個葡萄糖基，而粳米及糯米的平均鏈長，則分別爲 15～18 及 17～20 個葡萄糖基。所有的稻米支鏈澱粉的最短分支鏈皆由 6 個葡萄糖基組成。十四種稻米支鏈澱粉的鏈長分佈圖皆呈兩個波峰型態，其波峰點的平均鏈長分別爲 10～15 及 40～44 個葡萄糖基。一般而言，秈米具有較多的長鏈，其中，三種高直鏈澱粉含量的秈米，即台中在來一號、台中秈十七號及高雄秈七號，其支鏈澱粉更含有少量的一百個葡萄糖基以上的超長鏈。

秈米支鏈澱粉因爲具有較多的長鏈，故其藍價以及 最大吸收波長皆高。另外，秈米支鏈澱粉的分子聚合度低，卻有較高的固有黏度，意味著這些支鏈澱粉的分子因具有較多的長鏈而呈長桿構形 (elongated rod conformation) 。

支鏈澱粉的回凝速率及回凝程度與其鏈長分布的特性有關。大致而言，長鏈會加速回凝，

且易於形成接合區而使支鏈澱粉凝膠變硬。而聚合度6～9的超短鏈則有抑制回凝，降低支鏈澱粉凝膠硬度的作用。由於這些性質會影響米飯入口品質，因此，除了直鏈澱粉含量外，支鏈澱粉具有較多長分支鏈，尤其是具有超長鏈者，其米飯的入口品質較差。

參考文獻

Asoaka, M., Okuno, K., and Fuwa, H. 1985. Effect of environmental temperature at the milky stage on amylose content and fine structure of amylopectin of waxy and nonwaxy endosperm starches of rice. Agric. Biol. Chem. 49:373.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A., and Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. J. Anal. Chem. 26:350.

French, D. 1972. Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. J. Jpn. Soc. Starch Sci. 19:8.

French, D. 1984. Organization of starch granules. p183 in " Starch : Chemistyr and Technology " 2nd ed. WHISTLER, R. L., BEMILLER, J. M. and PASCHALL, E. F.eds. Academic Press. N.Y. NY.

Gidley, M. J., and BULPIN, P. V. 1987. Crystallization of maltooligosaccharides as models of the crystalline forms of starch : Minimum chain length requirment for the formation of double helices. Carbohydr. Res. 161:291.

Gilbert, G. A., and SPRAGG, S. P. 1964. Iodimetric determination of amylose. p168 in " Methods in carbohydrate chemistry Vol.IV " WHISTLER, R. L. ed. Academic Press. N. Y. N.Y.

Greenwood, C. T. 1964. Viscosity-molecular weight relations. p179 in " Methods in carbohydrate chemistry Vol.IV " WHISTLER, R. L. ed. Academic Press. N. Y. N.Y

Hizukuri, S. 1985. Relationship between the distribution of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. Carbohydr. Res. 141:295.

Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain length of amylopectins and its significance. Carbohydr. Res. 147 :342.

Hizukuri, S. 1993. Towards an understanding of the fine structures of starch molecules. Denpun Kagaku 40:133.

Hizukuri, S., KANEKO, T., and TAKEDA, Y. 1983a. Measuremant of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. Bio-chem. Biophys. Acta. 760:188

Hizukuri, S., SHIRASAKA, K., and JULIANO, B. O. 1983b. Phosphorus and amylose branching in the rice starch granules. Starch 35:348.

Hizukuri, S., TAKEDA, T., and MARUTA, N. 1989. Molecular structures of rice starches. Carbohydr.Res.189:227.

Koizumi, K., FUKUDA, M., and HIZUKURI, S. 1991. Estimation of the distribution of chain length

of amylopectins by high performance liquid chromatography with pulsed amperometric detection. J. Chromatogr. 585:233.

Takeda, Y., HIZUKURI, S., and JULIANO, B.O. 1987. Structure of rice amylopectins with low and high affinities for iodine. Carbohydr. Res.168:79.

Correlations Between Rice Fine Structure and It's Quality

Shin Lu
Department of Food Science, National Chung Hsing University.
Taichung Taiwan

Abstract

Fourteen varieties of rice from Taiwan, including five indica, five japonica and four waxy cultivars, were used in this study for the examination of fine structure and physicochemical properties of the amylopectin.

The results indicated that the amylopectin of indica rice, when compared with that of jopinica and waxy vatieties, had lower molecular weight, average degree of polymerization (DP), and average chain number. The shortest average DP was 6 glucose units for all 14 rice varieties. The average chain lengths (CL) of amylopectin were 18-22, 15-18 and 17-20 for indica, japonica and waxy rice, respectively. Amylopectin of the indica varieties, but not the other varieties, with high amylose content was comp osed of a small amount of extra long chain (DP>100). The CL distribution profiles of amylopectins for these 14 varieties could be divided into two fractions, corresponding to CL of 10-15 and 40-44.

Amylopectin of the indica rice ha.d a relatively high blue value and λ max, implying that a high proportion existed as long branches . The amylopectin of three indica varieties with lower DP exhibited higher intrinsic viscosity, which might be attribut ed to the more elongated rod conformation of the small amount of extra long chain amylopectin. It is proposed that these extra long chains within amylopectin would result in the unique eating quality of the cooked indica rice.

key words: rice, amylopectin

稻米運銷之改進

謝 慶 雄
台灣省政府糧食局

稻米運銷現況

一、農民生產稻穀之銷售

水稻收穫後一般銷售有兩個管道，一是繳售給政府的計畫及輔導收購，一是賣給糧商。近年來由於農村勞力缺乏部分農民將濕穀直接售給有烘乾設備之糧商後，由糧商將欲繳售給政府的稻穀烘至水分含量百分之十三，餘則烘至百分之十五自行收購；亦有部分農民自行烘乾分開繳售，前者爲公糧，後者爲民間自由流通米（民糧），以民國八十三年爲例，政府收購公糧有六三萬三、一〇九公噸，佔當年生產量二〇六萬一、四〇三公噸之七四・六四％；在民糧部分由生產者直接售予碾米工廠之比率爲四三・五一％，售予中間商一三・六九％，售予農民團體者佔一一・三七％，另售予批發商、大消費戶及零售商者等佔六・〇七％。碾米廠將稻穀碾成白米售予白米批發商、零批商、零售商消費者超級市場及大消費戶，而批發商亦有相同銷售對象。

二、政府公糧之處理

公糧之收購除有掌控安全存糧之目的外，亦有維持稻作農戶合理利潤之考量，爲維持公糧品質，本局將收儲的稻穀委託各公、民營倉庫儲存，公營者指農會、合作農場，民營者乃一般糧商，惟工公、民營倉庫皆與本局訂有委託合約，以確保品質與數量。爲確保品質本局有多種推陳換新措施，如撥售軍糧、經常糧（學訓糧、醫療榮民糧、救濟糧、外島民糧及法務糧）、調節糧（酒糧、內外銷食品原料糧、機關糧、學童午餐糧）、外銷米及飼料米等。以民國八十三年爲例，政府收購公糧有六三萬三、一〇九公噸，撥售軍糧三萬七、二二四公噸糙米（以下撥售數量皆爲糙米計）、經常糧一萬一、五四七公噸、調節糧十萬三、四九二公噸、外銷米十二萬二、九五〇公噸、飼料米十二萬六、一六八公噸，合計四十萬一、三八一公噸，換算稻穀約爲五十萬一、七二六公噸。八十二年政府撥售以上各種糧爲六八萬四、七一八公噸糙米，折稻穀爲八五萬五、八九八公噸，以上所撥售公糧除飼料米外大都由本局委託之公、民營白米加工廠加工成白米，以PP袋包裝交由火車、汽車承運。公糧稻穀加工成糙米必須經本局之米穀檢驗人員檢查合格後始得再加工爲白米，加工成白米仍得經上述人員檢驗合格後始可交到消費者手中，惟今之稻米加工大多採一貫化作業，即將稻穀直接加工成白米。

三、臺灣地區稻穀儲存倉庫之簡介